

El modelo de nutrición vegetal a través de la historia y su importancia para la enseñanza

Concepción González Rodríguez¹, Cristina Martínez Losada², Susana García Barros³

Dpto. de Pedagogía e Didáctica. Facultad de Ciencias da Educación. Universidade da Coruña

¹cgonzalezr@udc.es, ²cmarl@udc.es, ³susg@udc.es

[Recibido en junio de 2013, aceptado en octubre de 2013]

En este trabajo se realiza una revisión histórica, de aquellos estudios/experiencias relacionados con los procesos de fotosíntesis y respiración que contribuyeron a la desestimación de la “teoría del humus” como modelo de nutrición vegetal. También se incluyen aquellos problemas que preocupaban a los investigadores en ese marco histórico. Se pondrá especial énfasis en la evolución de la formulación de “la fotosíntesis”, ya que en dicho conocimiento se localizó “la clave” que otorgó a los vegetales una importancia vital para la supervivencia de la vida en nuestro planeta. La evolución del conocimiento en ese campo, permitió pasar de un modelo de nutrición vegetal centrado únicamente en el nivel organismo, a la elaboración y aceptación del modelo actual que contempla la nutrición en tres niveles: organismo, celular y ecosistema. Finalmente se muestra la importancia que esta revisión histórica tiene para la enseñanza de este tema.

Palabras clave: historia de la ciencia; fotosíntesis; respiración; enseñanza de la nutrición vegetal.

The plant nutrition model throughout history

In this work, an historical review of the studies and experiences related to the photosynthesis and plant respiration which contributed to the rejection of the “humus theory” as a plant nutrition model is done. Moreover, a description of the challenges that the researchers were facing at that time, is also included. The evolution of the photosynthesis formulation will be emphasized, considering that from these studies, plants started being considered of vital importance for the survival of life on our planet. The evolution of knowledge in that field, allowed us to move from a plant nutrition model focused on the organism level, to the development and acceptance of the current three level plant nutrition model: organism, cell and ecosystem. At last, it shows historical review importance to teaching this topic.

Keywords: history of science; photosynthesis; respiration; teaching plant nutrition.

Introducción

A lo largo de los años, se llevaron a cabo una serie de descubrimientos relevantes que de forma gradual han permitido interpretar la fotosíntesis, como proceso que realizan exclusivamente los vegetales y la respiración, como proceso común a todos los seres vivos. La evolución del conocimiento sobre ambos procesos, permitió elaborar el nuevo modelo de nutrición de los seres vivos, que consiste en una serie de complejas reacciones bioquímicas que tienen lugar a nivel celular, cuya función es proporcionar al organismo la energía y la materia necesaria para generar y regenerar sus propias estructuras. Por lo tanto, la diferencia entre vegetales y animales y en términos más generales entre autótrofos y heterótrofos, no radica en la fase de la nutrición asociada a la respiración que los iguala, sino en la capacidad de los primeros para sintetizar materia orgánica a partir de materia inorgánica, utilizando para ello la energía luminosa, proceso que conocemos como “fotosíntesis”.

Por lo tanto dichos descubrimientos otorgaron a los vegetales una función clave en el medio, ya que se comprobó que eran los responsables de la entrada de la energía en el ecosistema. Este hecho permite contemplar el mundo vegetal desde una nueva dimensión, más amplia y general, explicando los intercambios y los ciclos de la materia, que tienen lugar en los ecosistemas.

La revisión histórica sobre el conocimiento de la nutrición en general y la nutrición vegetal en particular, como en otros muchos casos, pone de manifiesto que a pesar de las numerosas evidencias científicas, fue necesario la superación de potentes obstáculos para que fuese aceptado el nuevo modelo de nutrición. No podemos olvidar que inicialmente la nutrición estaba asociada a la alimentación y totalmente desconectada de la respiración, que se circunscribió durante años al intercambio de gases de los animales, cuya función se percibía como trascendental para el mantenimiento de la vida. Además, la nueva concepción científica de la nutrición vegetal contradecía “la teoría del humus”, vigente e incuestionable durante siglos, que definía este proceso de forma muy intuitiva, dada su mayor similitud con la nutrición animal, y que de hecho fue defendida por ciertos sectores científicos todavía a mediados del siglo XIX.

En este contexto trataremos de realizar una revisión de la evolución del conocimiento científico, conjugando aquellos estudios y experiencias emblemáticas que contribuyeron de forma decisiva al conocimiento de los procesos de fotosíntesis y respiración, que facilitaron la elaboración y aceptación del modelo actual de nutrición vegetal y que condujeron a la superación de la “la teoría del humus”. También se tratará de mostrar como dicha revisión histórica, constituye una herramienta útil para el docente a la hora de planificar/elaborar secuencias didácticas sobre nutrición vegetal.

La construcción del conocimiento de la nutrición vegetal

La construcción del conocimiento sobre nutrición fue un proceso complejo pudiéndose apreciar, a través de diferentes revisiones históricas (Asimov, 1968, 1982; Cañal, 1990; Giordan et al, 1988; Hall & Rao, 1977; Harré, 1970; Mazliak, 1976) cómo han ido cambiando los problemas que preocuparon a los investigadores y cómo evolucionaron sus ideas. Esto nos ha permitido identificar una serie de cuestiones que se suscitaron en cada momento y que se fueron resolviendo a lo largo de la historia.

Parta facilitar el análisis, siguiendo la propuesta de Cañal (2006) dividiremos la presentación en varias etapas. En cada una de ellas, no nos limitaremos a presentar un listado cronológico de los principales hitos históricos del avance del conocimiento de la nutrición vegetal, sino que comenzaremos cada etapa planteando los problemas que en este campo preocupaban a la comunidad científica. A continuación, se expondrán las respuestas a las mismas a partir de las aportaciones de las investigaciones realizadas en cada periodo.

La 1ª etapa abarca la Grecia clásica y la edad Media. En ella se intenta desarrollar un marco conceptual muy amplio con la intención de interpretar la realidad material y los procesos de cambio que se producen en la misma, tratando de explicar la estructura y composición de la materia y los cambios materiales.

En este contexto surgen las primeras preguntas que tratan de buscar una explicación a los procesos de nutrición vegetal:

¿Cómo es posible que unas sustancias que reúnen unas características diferenciadas de las que constituyen el cuerpo del ser que se alimenta, lleguen a formar parte de ese cuerpo y así producir su crecimiento?

La primera respuesta a este problema la formula Hipócrates y a continuación Aristóteles, con la “teoría del humus”:

- Las plantas, se alimentan de los restos orgánicos o humus

Estos autores aplican los mismos criterios que poseen sobre la alimentación animal a las plantas, considerándolas como un animal invertido en el que las raíces serían la boca por la

que se incorporarían los alimentos que procederían del suelo. Esos alimentos serían los restos orgánicos o humus que se acumulan en la superficie del suelo.

Según Aristóteles los vegetales tienen alma, pero al igual que los animales sólo la vegetativa, es decir que son capaces de crecer y reproducirse, pero no están capacitados para elaborar o digerir su alimento. Por ello se limitan al igual que los animales a absorber dichos alimentos, en este caso por las raíces, y a transportarlos por toda la planta, produciéndose el crecimiento por la simple adicción de estos materiales. Las posibles transformaciones ya se habrían producido en el suelo, al que se le asigna un papel similar al sistema digestivo en los animales. Esta teoría del humus se va a mantener prácticamente sin cambios, ni discusión hasta el siglo XVII.

En cuanto a la respiración, en esta época nada hacía pensar que las plantas podrían realizar este proceso, ya que se relacionaba con el fenómeno observable de ventilación y la necesidad de regular la temperatura corporal de los animales y por lo tanto exclusivo de los animales, lo cual ratificaba la idea de que:

- Las plantas no necesitan respirar

En la Edad Media se producen muy pocos avances en el desarrollo conceptual científico en general y en nuestro caso en particular. A este estancamiento contribuye especialmente el rechazo a la experimentación como algo innecesario y el seguimiento de los principios aristotélicos. Sin olvidar las creencias religiosas que se imponen en la Ciencia y que mantienen el mismo plan divino para todos los seres vivos, a lo que se añade la consideración de la especie humana como culminación de la creación. Todo ello favorece la preponderancia de una visión antropocéntrica, en la que todos los seres vivos (animales y vegetales) tienen como misión fundamental estar al servicio del ser humano (aportar alimento, o dar sombra, etc.). En esta visión, está el origen de una serie de concepciones antropocéntricas que todavía se mantienen vivas en la sociedad actual.

En la 2ª etapa que abarca los siglos XVI y XVII, el desarrollo de la Ciencia es espectacular al producirse un rechazo progresivo del dogmatismo y de la religiosidad de la sociedad, destacando el comienzo de la aplicación del método experimental, liderado por Francis Bacon (1561-1626). En nuestro campo, estos avances comienzan a fructificar sobre todo a partir de la mitad del siglo XVII, fecha en la que el médico flamenco Van Helmont, J. B., lleva a cabo el primer estudio experimental en fisiología vegetal, demostrando que:

- El agua es fuente de alimento del vegetal.

Experiencia de Van Helmont

Objetivo: cuestionar que la teoría húmica, no es suficiente para justificar la nutrición vegetal.

Fase experimental: durante un período de cinco años (1643 a 1648), cultivó un sauce en un recipiente que contenía una cantidad de tierra que había pesado previamente, a la que solamente suministraba agua de lluvia.

Resultados: después de esos cinco años observó que el árbol había crecido considerablemente a pesar de que la cantidad de tierra del recipiente no había disminuido significativamente, demostrando que ese crecimiento, no puede proceder del consumo de las sustancias orgánicas del suelo "*teoría húmica*", lo que se había considerado como un hecho indudable hasta el momento.

Conclusiones: el agua utilizada para humedecer el suelo es la responsable de la formación de las sustancias del árbol.

La contribución de los estudios de Van Helmont no consiste sólo en ese hallazgo, sino que además es el primer experimento cuantitativo que se realiza con un vegetal, pesando exactamente todas las sustancias que intervienen (maceta, tierra, etc.) y calculando los cambios de peso producidos. Algunos años más tarde, Malpighi y Mariotte proponen que además del agua, también las sales minerales intervienen como alimento de las plantas verdes.

En la segunda mitad del siglo XVII los progresos en el conocimiento de la naturaleza del aire, y en concreto la detección por Mayow del *espíritu nitro-aéreo* como algo que se consume en la respiración y en la combustión, estimularon los estudios relacionados con los procesos de nutrición. Así, los trabajos combinados de varios científicos sobre la nutrición vegetal, generaron nuevos conocimientos a nivel morfológico en este campo. En este sentido, cabe destacar las aportaciones de Major y Perrault, que comparan la circulación de la savia, con la circulación sanguínea propuesta por Harvey; la interpretación de Malpighi sobre los vasos conductores de savia bruta, como tubos respiratorios similares a las tráqueas de los insectos, o la comparación de Grew entre los estomas vegetales y los poros de los animales. Sin embargo, dichos estudios no supusieron una modificación sustancial en lo que se refiere al proceso de respiración en los vegetales:

- Se mantiene la idea de que las plantas no respiran

El descubrimiento del microscopio y su aplicación al estudio vegetal ayudó a conocer con detalle estructuras como los estomas, los vasos conductores, las hojas y las raíces, facilitando la aceptación de las aportaciones de Major y Perrault sobre la circulación de la savia. En este ambiente Hooke (1665), inicia la observación de las primeras células, aspecto que sería importante para la posterior formulación de la teoría celular.

La 3ª etapa abarca el siglo XVIII, en el que *la teoría del flogisto* es aceptada por la comunidad científica de la época. Según esta teoría, existe un principio ígneo, “*el flogisto*”, común a todas las sustancias combustibles, que se desprende del combustible al arder. Esta teoría, fue publicada por Sthal en 1697, pero no se da a conocer hasta ya entrado el siglo XVIII y supuso la posibilidad de una nueva forma de interpretar los procesos de combustión y la respiración. Sin embargo, el flogisto, va a ser utilizado como un principio explicativo general. Por ello, lo que se consideraba un avance llega a suponer un serio obstáculo para el conocimiento científico y concretamente para el avance en el conocimiento de la nutrición vegetal.

Esta idea se mantuvo vigente hasta que años más tarde, Lavoisier en 1785 insatisfecho con la conceptualización derivada de la teoría del flogisto, elabora un instrumento conceptual alternativo, “*la teoría de la oxidación*”, que ocasionó un replanteamiento de toda la química y que en nuestro campo llevó a una reconceptualización del fenómeno de la respiración, considerándolo como un proceso de combustión –oxidación– interna de materia orgánica. De esta manera, poco a poco se va debilitando la idea de que la respiración es un proceso simple de intercambio gaseoso, lo que permite comenzar por primera vez, a distinguir los intercambios gaseosos en las plantas.

En 1727 el botánico Stephen Hales, considerado el padre de la fisiología vegetal, publica un libro, en el que describe como las plantas utilizan principalmente el aire para alimentarse durante su desarrollo. De esta forma proporciona respuestas válidas para muchas cuestiones que carecían de ellas hasta entonces, como pueden ser:

¿Qué funciones desempeñan las distintas partes de una planta? ¿Circula la savia por la planta y si es así, qué fuerza la mueve? ¿Captan las plantas por medio de las raíces los alimentos ya elaborados (teoría del humus), o por el contrario éstos habrán de sufrir una transformación interna, para dar lugar a las sustancias que las forman?

Hales aporta además diversos procedimientos y aparatos para el manejo de gases que facilitan otros estudios con resultados muy gratificantes sobre la composición del aire atmosférico, como los realizados por Joseph Priestley. Este químico inglés fue uno de los descubridores del oxígeno y realizó una serie de experiencias durante los años 1771 y 1777, relativas a la combustión y a la respiración de las plantas que le llevaron a la conclusión de que las plantas respiran pero con un intercambio gaseoso inverso al de los animales, es decir consumen CO_2 y desprenden O_2 .

Experiencia de Joseph Priestley

Objetivo: comprobar que las plantas también “respiran”.

Fase experimental: en un volumen de aire cerrado, colocó una vela encendida y un ratón y observó que al cabo de un tiempo la vela se apagaba y el ratón no sobrevivía. Posteriormente y basándose en los resultados obtenidos en esa primera experiencia, planteó una segunda experiencia. Introdujo en el mismo tipo de medio, una rama verde de menta, y observó que al cabo del tiempo la vela se mantenía encendida, y el ratón sobrevivía.

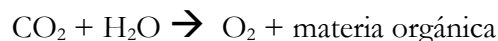
Resultados: observa que la planta de menta devuelve oxígeno al aire, creando un nuevo ambiente que permite mantener la combustión y la vida del ratón.

Conclusiones: las plantas también respiran, pero a diferencia de los animales desprenden oxígeno. Esta “respiración” además de servir para alimentar a las plantas, enriquece de oxígeno el medio.

No obstante Priestley no logró detectar la necesidad de la luz en este proceso, ni el papel desempeñado por el *aire fijo* (gas carbónico) en el mismo sino que fue años más tarde, cuando el médico holandés Ingen- Housz, detectó que el ingrediente nutritivo del aire para la planta es el CO_2 , demostrando además que esa absorción no se produce en la oscuridad sino que necesita “luz”. Por lo tanto, se añade a los hallazgos de Priestley, que el desprendimiento de oxígeno se produce únicamente con luz solar, y que sólo las partes verdes de la planta realizan dicho proceso, interpretando que:

- Las plantas realizan una respiración no uniforme, inversa a la que realizan los animales durante el día e igual a ellos durante la noche. Es decir de día consumen CO_2 y desprenden O_2 y de noche consumen O_2 y desprenden CO_2

Esta etapa finaliza con los estudios De Saussure, sobre las relaciones cuantitativas entre el CO_2 absorbido por la planta y la cantidad de materia orgánica y O_2 producidos. A partir de dichos estudios, llega a la conclusión de que las plantas durante la incorporación del CO_2 también consumen agua y propone la primera ecuación para representar el proceso de la fotosíntesis:



La 4ª etapa abarca el siglo XIX. En este período se generalizan los estudios experimentales. Como señala Harre (1970), si bien se conocía el esqueleto del proceso, existían determinados aspectos del mismo que todavía eran una incógnita:

¿De dónde procede el oxígeno que desprenden las plantas? ¿Cómo se produce la captación y cómo emplea la planta la luz solar? ¿Cuál es la sustancia que da color verde a las plantas y qué función tiene? ¿Es realmente necesario el humus para la nutrición de las plantas? ¿Qué naturaleza química tienen los primeros productos que se forman? ¿Respiran las plantas de forma diferente a los animales?

Algunas de estas cuestiones obtienen respuesta rápidamente. En concreto, Pelletier y Caventou en 1817 aíslan de las hojas el compuesto responsable de su color verde, al que

llamaron “*clorofila*”, cuyo significado procede de las palabras griegas “hojas verdes”. A su vez Robert Mayer en 1845, señala que las plantas transforman la energía de la luz solar en energía química. A partir de estas aportaciones y de las realizadas por Priestley se va completando poco a poco el esqueleto de la que comienza a llamarse “*teoría de la función clorofílica*” . Definiéndola como:

- En presencia de luz solar, una planta toma el CO_2 y lo combina con agua, para formar sus tejidos, liberando O_2 en el proceso.

Por lo tanto resulta evidente que las plantas no sólo proporcionan alimento, sino que además renuevan las existencias de O_2 en el aire. Sin embargo, esto no resultaba suficiente para contradecir de forma concluyente la teoría del humus, defendida por ciertos sectores científicos todavía a mediados del siglo XIX, de ahí que antiguas y nuevas ideas coexistieran durante bastante tiempo.

Entre los estudios que tratan de ratificar y defender la teoría aristotélica del humus, se encuentran los de Treviranus de 1835, argumentando las evidencias derivadas de la práctica agrícola (que indicaban que al añadir abono orgánico, se mejoraba la cosecha). También De Saussure en 1900, se apoya en esta teoría para explicar el origen de las sustancias nitrogenadas, ya que las nuevas ideas seguían sin explicar el empobrecimiento del suelo tras varias cosechas consecutivas y la restauración de la fertilidad al añadirle desechos orgánicos como el estiércol:

- Sigue habiendo estudios que tratan de ratificar la teoría del humus.

Sin embargo la teoría del humus fue cuestionada por otras investigaciones. Destaca la aportación del ingeniero de minas francés, Boussingault, con una experiencia en un terreno exento de compuestos nitrogenados de origen orgánico .

Experiencia de Boussingault

Objetivo: constatar que las plantas no necesitan para crecer compuestos orgánicos.

Fase experimental: realiza un cultivo vegetal (1850-1860), en un terreno exento de compuestos nitrogenados de origen orgánico.

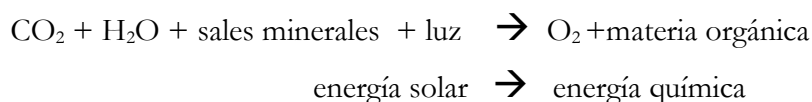
Resultados: percibe que las plantas del cultivo crecen, a pesar de haber sido plantadas en un suelo exclusivamente inorgánico.

Conclusiones: las plantas no necesitan para crecer compuestos orgánicos, lo que invalida experimentalmente la teoría húmica.

Los resultados obtenidos hacen patente que la aportación del suelo como alimento directo de las plantas se limita a ciertas sales inorgánicas, como nitratos y fosfatos, siendo estos los ingredientes que “el humus” y otros fertilizantes orgánicos, como el estiércol, añaden al terreno. Este hecho motivó que los químicos comenzasen a defender el empleo de fertilizantes químicos, que servían para esta finalidad y evitaban los olores desagradables y los peligros de infecciones, derivadas en gran medida de los estiércoles.

Años más tarde acabará demostrándose que los compuestos orgánicos que contiene “el humus” intervienen como fuente de nutrientes para los vegetales, después de haber sido mineralizados (transformados en sales minerales) por los organismos descomponedores. De esta forma se da sentido al conocimiento práctico de los agricultores, que había sido refutado inicialmente desde la Ciencia por autores como Liebig, que mantenía que el humus no realiza ninguna aportación a la fertilidad de la planta.

También a mediados del siglo se avanza en el conocimiento de las sustancias que intervienen en la fotosíntesis. Así, Boussingault, en 1864 llevó a cabo determinaciones precisas para conocer la relación entre el CO_2 consumido y el O_2 desprendido durante la fotosíntesis – relación fotosintética- comprobando que tal relación es prácticamente la unidad. Este hecho supuso la necesidad de representar el proceso de la fotosíntesis, mediante una nueva ecuación :



En ese mismo año el botánico alemán, Sachs (Hall & Rao, 1977) observa que la clorofila descubierta por Pelletier y Caventou, no se hallaba distribuida de forma general en las células vegetales, a pesar de que las hojas ofrezcan un aspecto uniforme, sino que se encontraba localizada en pequeños “cuerpos subcelulares”, que posteriormente se llamaran, “*cloroplastos*”. También demuestra que durante la fotosíntesis se forman gránulos de almidón.

Experiencia de Sachs

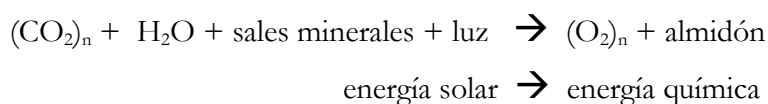
Objetivo: comprobar que durante la fotosíntesis se forma almidón

Fase experimental: guardó algunas hojas verdes en la oscuridad durante varias horas para que se consumiera todo el almidón que contenían. Posteriormente, expuso a la luz la mitad de una de las hojas sin almidón y la otra mitad la mantuvo en oscuridad, pasado un cierto tiempo puso toda la hoja en contacto con el vapor de yodo.

Resultados: comprueba que la parte iluminada de la hoja adquirió una coloración violeta oscuro debido a la formación del complejo almidón-yodo; la otra mitad no manifestó ningún cambio de coloración

Conclusiones: la formación de almidón en las hojas, solo es posible con la presencia de luz.

A finales del **siglo XIX** Engelman determina que las clorofilas son los pigmentos activos (fotorreceptores) en la fotosíntesis y con ello se impulsa la hipótesis del formaldehído como primer producto del proceso (Hall & Rao, 1977). Dicho compuesto se formaría a partir de la unión del carbono del dióxido de carbono que se descompone durante la fotosíntesis y el agua, quedando libre el oxígeno, que se desprendería. La unión de seis moléculas de formaldehído originaría la glucosa. De tal forma que la fotosíntesis va a representarse por otra ecuación más compleja:



A finales de ese siglo Strasburger mostró de forma experimental, como se produce la circulación ascendente de la savia bruta por los vasos del xilema, lo que había sido constatado por Malpighi siglos atrás. En cuanto a la respiración, los estudios de Virchow publicados en 1858 sobre este proceso en animales precisan su localización en todas y cada una de las células del cuerpo, constatándose como un proceso que forma parte de la nutrición. También se establecen las diferencias entre el intercambio gaseoso y el proceso respiratorio que se produce en los tejidos. Todo ello favoreció la aceptación de los trabajos realizados por Sachs en 1862:

- Las plantas respiran como los animales, tanto durante el día como durante la noche, existiendo en las plantas intercambios de gases respiratorios y fotosintéticos de forma paralela.

La 5ª etapa abarca el siglo XX en el que se produce un gran avance de la investigación en este campo. A comienzos de este siglo se hizo evidente que la fotosíntesis tiene lugar dentro de los “cloroplastos”, y que la clorofila es esencial para este proceso. Sin embargo hay otros aspectos todavía oscuros:

¿De dónde procede el oxígeno que se desprende a la atmósfera? ¿Cómo actúa la energía de la luz? ¿Cuál es el mecanismo por el que el dióxido de carbono se transforma en hidratos de carbono? ¿Cómo influyen los diferentes factores en la intensidad fotosintética?

El desarrollo de aparatos como el de Warburg en 1920, que permite medir los intercambios de gases respiratorios o fotosintéticos y el inicio del uso de marcadores radioactivos como el C_{14} y el O_{18} , por Ruben y Kamen en 1938 en las experiencias con plantas, facilitaron los estudios sobre las transformaciones químicas que ocurren en la fotosíntesis, y con ello la respuesta de muchas de las cuestiones planteadas. Así, Hill en 1939 llevó a cabo estudios que permitieron apoyar la hipótesis de Van Niel (1900) sobre la fotólisis del agua, descubriéndose así el origen del O_2 que expulsan los vegetales.

Experiencia de Hill

Objetivo: verificar que la molécula del agua se rompe por acción de la luz

Fase experimental: introdujo cloroplastos previamente aislados en un frasco Warburg y observó su comportamiento, utilizando en el proceso marcadores radiactivos (O_{18}).

Resultados: comprueba que el O_2 que se libera procede de la molécula del agua y no de la de dióxido de carbono, como se había supuesto en la teoría del formaldehído

Conclusiones: la molécula de agua se descompone en hidrógeno y oxígeno gracias a la energía solar, proceso que denomina “*fotólisis del agua*” y esta reacción se llevaría a cabo gracias a la acción catalítica de la clorofila.

La fotólisis sería la forma en que la energía radiante de la luz solar se convertiría en energía química, pues las moléculas de hidrógeno y oxígeno contienen más energía química que la molécula de agua de la que proceden. Este conjunto de reacciones se corresponde en parte, con lo que conocemos en la actualidad como “*fase luminosa*”. Esta capacidad otorga a los vegetales una función transcendental en el medio:

- Se reconoce a las plantas como responsables de la entrada de la energía en el ecosistema, abriéndolas a una nueva dimensión más amplia y general.

Por otra parte la utilización del C_{14} permitió a Calvin y Benson (1948) identificar al ácido 3-fosfoglicérico como primer producto estable de la fotosíntesis. A partir de esta identificación Calvin fue descifrando y describiendo las reacciones implicadas en este proceso, que se conocen como “*ciclo de Calvin*”, denominado también como “*fase oscura*”, porque no necesita la presencia de luz para que se lleve a cabo. Su trabajo fue premiado con el premio Nobel de Química en 1961. También el uso de marcadores radioactivos permitieron aclarar por fin la forma en que se produce el transporte de la savia elaborada a través del floema, hasta el momento sin descifrar por la carencia de técnicas experimentales.

En cuanto al proceso de respiración, los estudios llevados a cabo por Warburg y Wieland (1920-1930) permitieron identificar las reacciones en las que se produce energía y las enzimas que intervienen. Se abre así una nueva etapa en la interpretación de este proceso, al permitir describirlo a escala celular y dentro de unos orgánulos (mitocondrias):

- Se describe la respiración como una serie de reacciones catalizadas que llevan a la producción de energía, en las que se requiere oxígeno y se desprende dióxido de carbono.

Conviene resaltar la contribución de Krebs en 1940 para desentrañar la secuencia de reacciones que se llevan a cabo durante la respiración celular. Sus trabajos sobre glicólisis, que culminaron con el descubrimiento del llamado ciclo del ácido cítrico o de Krebs, describen de forma pormenorizada las reacciones y productos intermedios que se forman desde el ácido láctico hasta el dióxido de carbono y el agua. Todo ello permitió construir el nuevo modelo del proceso de nutrición que supone la existencia de una cadena de reacciones sucesivas, la presencia de catalizadores, indispensables y característicos de cada reacción, la deshidrogenación y el progresivo desprendimiento de energía, que es recuperada por sustancias ricas en energía.

Por último y en la misma época (1941), el químico Lipman inicia las investigaciones para encontrar la respuesta a una importante cuestión :

¿Qué moléculas son capaces de “acumular esa energía” en el transcurso de los procesos metabólicos?

El citado investigador consigue identificar ciertos compuestos de fosfato formados en el curso del metabolismo, que acumulan considerables cantidades de energía en el enlace que conecta el grupo fosfato con el resto de la molécula. Este enlace fosfato de alta energía es transferido a transportadores de energía presentes en todas las células, el más conocido es el trifosfato de adenosina, conocido como ATP.

Por último, el descubrimiento de la relación cuantitativa existente entre el CO₂ absorbido y la cantidad de materia orgánica generada, así como otros estudios posteriormente realizados, no ya a nivel individuo, sino a nivel celular y bioquímico permitieron conocer como se produce la acción mineralizadora del suelo por los microorganismos. Todos estos conocimientos contribuyeron a configurar el nuevo modelo de nutrición vegetal y a conocer los procesos energéticos y los ciclos de materia que tienen lugar en el ecosistema y con ello la trascendencia de las plantas para el medio ambiente.

En este nuevo paradigma de la nutrición vegetal, se contemplan los tres niveles de organización, en los que se integran los conocimientos que se han ido generando. Sirva a modo de resumen, el esquema conceptual (Figura 1), elaborado a la luz de dichos conocimientos.

Implicaciones y consideraciones finales

Como síntesis de la evolución del conocimiento sobre nutrición vegetal se puede considerar que con el avance científico se pasó de una explicación inicial de la nutrición vegetal centrada exclusivamente en el individuo y asimilada a una “alimentación” semejante a la animal, a un modelo complejo de nutrición vegetal que supera al individuo al explicarse a nivel celular, y al abrirse a un nivel mucho más global, la dimensión ecológica de la nutrición vegetal. Las ideas clave de ambos modelos se pueden concretar en:

- Idea inicial sobre nutrición y nutrición vegetal

- La nutrición se asimila a alimentación.
- Los vegetales, al igual que los animales aunque de forma diferente, captan “alimentos orgánicos” -Teoría del humus-.
- La riqueza del suelo, el agua y la luz, son esenciales para el desarrollo vegetal.

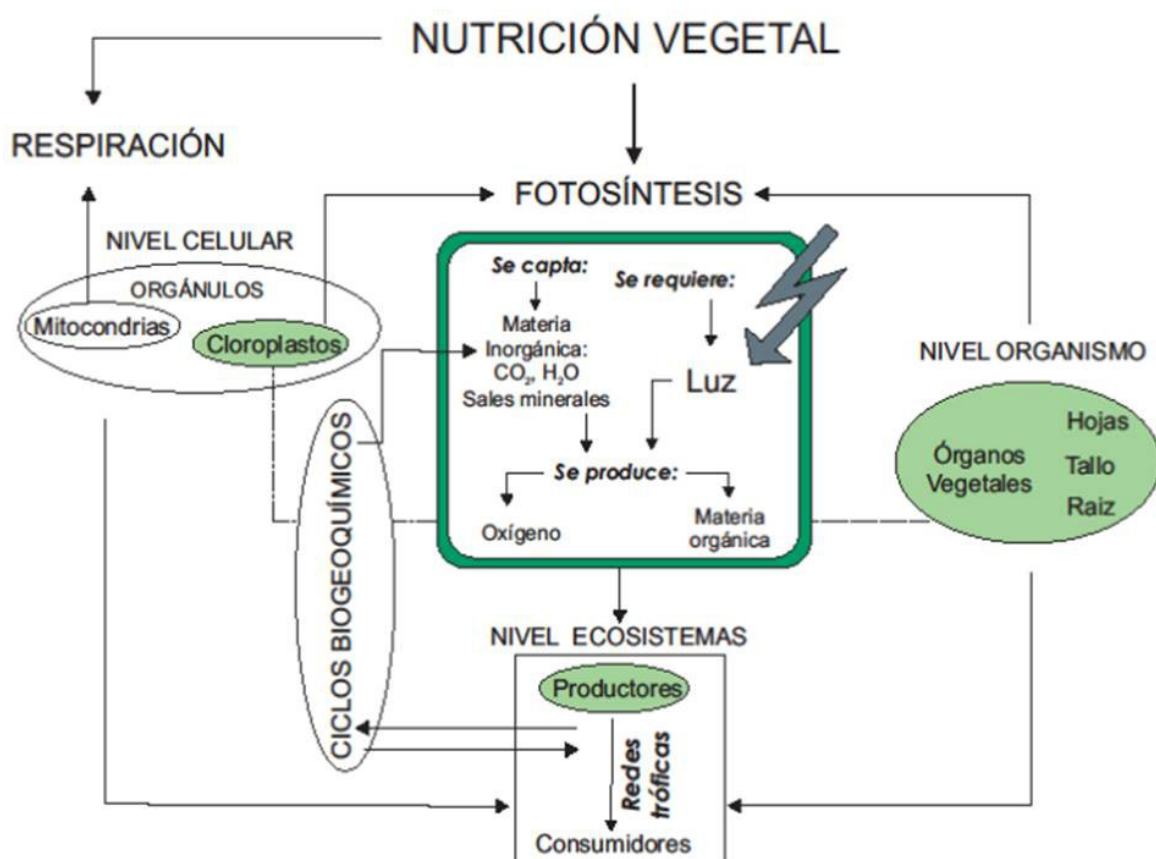


Figura1. Esquema conceptual sobre la nutrición vegetal.

- Nuevo modelo de nutrición y nutrición vegetal

- La nutrición es un proceso universal de todos los seres vivos. Tiene como función la construcción de estructuras y la obtención de energía, estableciéndose un continuo intercambio de materias entre el organismo vivo y el medio.
- La nutrición vegetal (organismo autótrofo) es más compleja, se caracteriza por síntesis de materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas sencillas en presencia de luz (fotosíntesis). Esta materia orgánica es, posteriormente, utilizada por el organismo para obtener materia y energía.
- La nutrición es un proceso celular. Consiste en una serie de reacciones metabólicas complejas que se realizan en las células y que integra a la respiración como parte de la misma. La fotosíntesis es también un proceso metabólico que tiene lugar en las células vegetales provistas de pigmentos fotosintéticos.
- La nutrición trasciende del nivel de individuo al de ecosistemas, pues la presencia de organismos autótrofos explica la entrada y el flujo de energía en el ecosistema. El continuo intercambio de materia de los distintos tipos de organismos (autótrofos y heterótrofos) en el medio explican los ciclos biogeoquímicos.

A pesar que no se puede hablar de la existencia de un total paralelismo entre la evolución del conocimiento histórico y el proceso de aprendizaje, el acercamiento a las grandes, y no tan grandes, preguntas que impulsaron la investigación, y a las audaces y rigurosas pruebas que permitieron responderlas, así como al marco social y tecnológico que ha rodeado ese proceso, constituyen puntos de referencia para la enseñanza de las ciencias. En este sentido la revisión

histórica que sobre la nutrición vegetal hemos presentado, en la medida que intenta plasmar como ha ido cambiando el modelo de nutrición, desde una concepción asimilada a la alimentación animal a la visión más compleja, universal y ecológica de la misma, puede constituir una herramienta útil para el docente a la hora de elaborar secuencias de enseñanza (Cañal, 2005; Charrier et al, 2006; González et al, 2009). Así mismo ofrece la oportunidad de seleccionar cuestiones y ensayos sobre los que reflexionar, apreciando que la génesis del conocimiento científico es un proceso holístico y complejo, vinculado a los avances tecnológicos y a un contexto sociocultural y político. Entendemos que lo indicado contribuye a superar posturas positivistas, tan arraigadas no solo entre la población en general, sino también entre los propios profesionales de la ciencia y de la educación.

Por otra parte el referente histórico permite identificar ensayos que contribuyeron a responder a cuestiones de especial importancia en el desarrollo del conocimiento. Estos ensayos resultan útiles para el profesorado en la medida de que pueden ser reproducidos o analizados en el aula. Con ello el alumno podrá identificar las distintas tareas asociadas al trabajo científico. Concretamente el análisis/realización de las experiencias históricas permite conocer el problema que guía la investigación, las primeras hipótesis, la coherencia entre estas y el ensayo, así como el uso de las pruebas obtenidas para elaborar conclusiones argumentadas (Jiménez & Puig, 2013). Además, posibilita que el estudiante valore tanto el rigor y la audacia del trabajo científico, como su contribución al desarrollo de nuevos saberes y la repercusión socioeconómica de los mismos. Todo ello, sin duda, favorecerá la adquisición de la deseable competencia científica.

Referencias bibliográficas

- Asimov, I. (1968). *Fotosíntesis*. Barcelona: Plaza y Janés.
- Asimov, I. (1982). *Introducción a la Ciencia*. Barcelona: Plaza & Janes.
- Bernal, J. D. (1967). *Historia social de la Ciencia*. Barcelona: Península.
- Cañal, P. (1990). *La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes: un estudio didáctico en la educación básica*. (Tesis Doctoral), Universidad de Sevilla.
- Cañal, P. (2005). *La nutrición de las plantas: enseñanza y aprendizaje*. Madrid: Síntesis.
- Charrier, M., Cañal, P., & Rodrigo Vega, M. (2006). Las concepciones de los estudiantes sobre fotosíntesis y respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 401-410.
- Devlin, R. M. (1975). *Fisiología vegetal*. Barcelona: Omega.
- Giordan, A., Raicharg, D., Drouin, J.M., Gagliardi, R., & Canay, A. M. (1988). *Conceptos de Biología. 1. La respiración. Los microbios. El ecosistema. La neurona* (Vol. 1). Barcelona: Labor.
- González Rodríguez, C., Martínez Losada, C., & García Barros, S. (2009). Problemática de la nutrición vegetal en la educación obligatoria. Una propuesta de secuencia. *Revista de Educación en Biología*. 12 (2), 36-44.
- Hall, D., & Rao, K. (1977). *Fotosíntesis*. Barcelona: Omega.
- Harré, R. (1970). *El método científico*. Madrid: Blume.
- Jiménez Alexandre, M^a Pilar; Puig Mauriz, B. El papel de la argumentación en la clase de ciencias: Llevando a cabo prácticas científicas. *Alambique*, 75, 85-90.
- Mazliak, P. (1976). *Fisiología Vegetal. Nutrición y metabolismo*. Barcelona: Omega.